Beiträge

zur

Kenntniss der histologischen Vorgänge

bei der

Wachsthumsbehinderung der Röhrenknochen durch Verletzungen des Intermediärknorpels.

Inaugural-Dissertation

der

medicinischen Facultät der Kaiser Wilhelms-Universität Strassburg

zur

Erlangung der Doctorwürde

vorgelegt von

Paul Jahn,
approbirter Arzt.

Naumburg a/S.
G. Pätz'sche Buchdr. (Lippert & Co.).
1891.

Gedruckt mit Genehmigung der medicinischen Facultät der Universität Strassburg.

Referent: **Prof. Dr. Schwalbe.**

Beiträge zur Kenntniss der histologischen Vorgänge bei der Wachsthumsbehinderung der Röhrenknochen durch Verletzungen des Intermediärknorpels

von

Paul Jahn,
approbirter Arzt.

Hierzu eine Tafel.

Wie schon die von mir gewählte Ueberschrift es andeutet, sollte es die Aufgabe meiner weiterhin zu beschreibenden Versuche sein, aus den histologischen Befunden die feineren Ursachen der schon seit lange bekannten Verkürzungen, welche an den langen Röhrenknochen nach Verletzungen ihrer Intermediärknorpel auftreten, festzustellen, und zu erforschen, ob der genannte Knorpel in allen seinen Theilen gleichwerthig ist, oder ob einzelne Theile desselben wichtiger sind für das Wachsthum des Knochens, andere dagegen weniger.

Entsprechend dieser genauen Abgrenzung meines Themas habe ich mich dann auch in Bezug auf die Berücksichtigung und Benutzung der Litteratur an die engsten Grenzen des Einschlägigen gehalten, zumal da ein ausführliches Eingehen auf die so ausgedehnte Litteratur über Knochenwachsthum den Rahmen einer solchen Arbeit weit überschritten hätte.

Ich gedenke zunächst eine Uebersicht über das bis dahin auf dem oben genauer abgegrenzten Gebiete des Knochenwachsthums vermittelst des Epiphysenknorpels Geleistete kurz zu besprechen und sodann erst mich an die Beschreibung meiner eigenen Experimente zu machen.

Nachdem frühere Autoren die Bedeutung des Epiphysenknorpels ziemlich unberücksichtigt gelassen haben, ist es wohl das Verdienst Ollier's, auch hierauf genügend hingewiesen zu haben und durch

zahlreiche und exacte Thierexperimente den so wesentlichen Einfluss des Epiphysenknorpels auf das Längenwachsthum der Knochen hinreichend bewiesen und gewürdigt zu haben.

Er kommt an der Hand der verschiedensten Eingriffe, die er an Thieren vornahm, zu folgenden Behauptungen: 1) Dass unbedeutende lineare Incisionen in den Knorpel das Wachsthum wenig beeinflussen. 2) Dass stärkere Läsionen oder Entfernung einzelner Knorpelpartien stärkeren Einfluss haben und zu Verkürzung oder Verkrümmungen führen. 3) Dass selbst vollständige Ablösung des Epiphysenknorpels ohne Wachsthumshemmung verlaufen kann, wenn die Theile sofort gut reponirt werden; dass dagegen bei Dislocation der Stücke Wachsthumshemmungen und -anomalien auftreten. 4) Dass völlige Excision des ganzen intermediären Knorpels völligen Wachsthumsstillstand an dem betreffenden Knochenende erzielt. Er erklärt die unter 2 constatirten Hemmungen des Längenwachsthums nicht aus zu früher Verknöcherung, sondern aus einem Stillstand in der Proliferation des Knorpels und seiner Zellen und aus dem Auftreten bindegewebigen Narbengewebes, das seinerseits keinen Knochen producirt.

An Ollier's Arbeiten schliessen sich eine grössere Anzahl mehr minder umfangreicher experimenteller Arbeiten und klinischer Beobachtungen an.

Zunächst ist 1873 eine Arbeit von A. Bidder erschienen, in welcher genannter Autor eine Anzahl von einschlägigen Experimenten veröffentlicht, die er an Kaninchen ausgeführt hat. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass an alle von ihm ausgeführten Operationen sich profuse Eiterung und Abscessbildung anschloss, die doch wohl das Resultat beeinflusst haben dürfte. Er will durchschnittlich in 30 Tagen 0,5 cm Verkürzung erzielt haben. Er operirte, indem er entweder den Epiphysenknorpel ganz durchschnitt oder nur mit sog. Lanzennadeln an einzelnen Theilen derselben lädirte. Die Resultate waren bei Verletzungen, die die ganze Dicke des Knorpels betrafen, gleichmässige Verkürzung des Knochens, bei nur theilweiser Läsion ungleichmässige Verkürzung, d. h. also Verkrümmungen.

Mikroskopisch beschreibt er an den lädirten Knorpelstellen Unregelmässigkeiten in der Stellung der Knorpelzellenreihen, dazwischen, wie er sich ausdrückt, ordnungsloses Wirrwarr von Zellen mit Kernwucherung und Schwund der Zellkapseln. Die Grundsubstanz war theils homogen, theils streifig. Von den bereits verknöcherten Theilen der Epiphysen und Diaphysen waren mehrfach Knochenbalken in den intermediären Knorpel hineingewachsen, während die normale Verknöcherungsgrenze verschwunden war. Mitunter reichten die erwähnten Knochenbalken schon völlig von der Diaphyse zur Epiphyse hinüber. Die Höhlungen, in denen die Nadeln gelegen hatten, waren von Bindegewebe umgeben. An einzelnen Stellen glaubt er directe metaplastische

Verknöcherung des Knorpels gesehen zu haben. Er schliesst aus seinen Befunden, dass die Knorpelzellen sich activ an allen diesen Processen, besonders den entzündlichen, betheiligen, indem sie theils direct Knochen lieferten, theils sich in Osteoblasten umwandelten, theils Bindegewebe bildeten. Eine Einwanderung weisser Blutkörperchen bestreitet er.

1875 hat sodann zunächst HAAB einige experimentelle Untersuchungen über Anomalien des Längenwachsthums der Röhrenknochen veröffentlicht. Er kommt, um es kurz zusammenzufassen, zu folgenden Schlüssen: Wird die Diaphyse des Knochens durch Einschlagen von Stiften gereizt, so beobachtet man in Folge des indirecten, fortgeleiteten Reizes auf die Epiphyse, vermehrtes Längenwachsthum — also Verlängerung des ganzen Knochens; wird aber die Epiphyse mit von dem direkten Reize getroffen, so bleibt Hemmung des Wachsthums und damit Verkürzung des Knochens zurück. Auch BIDDER hat einige neue Versuche angestellt, die darin gipfeln, dass eine Reizung der Diaphyse (der Tibia) allein Verlängerung erzeugt, welche jedoch ausbleibt oder sogar in Verkürzung übergeht, wenn gleichzeitig (subcutan) die obere Epiphyse, an der das Hauptwachsthum der Tibia stattfindet, durch Brechen oder Extension abgesprengt wird, ein Befund, der eigentlich selbstverständlich ist, denn der indirecte Reiz, der am intacten Knochen sich auf die Epiphyse fortpflanzt und dort stärkeres Wachsthum anregt, kann das naturgemäss nicht mehr thun, wenn die Epiphyse aus dem Zusammenhang mit dem übrigen Knochen losgelöst ist. Im Gegentheil, es muss dann der gewöhnliche Erfolg, den letztere Verletzung nach sich zieht, nämlich die Wachsthumshemmung, in ihr Recht treten.

Auch von TELKE sind ähnliche Untersuchungen veröffentlicht worden; er hat subcutan durch Stiche mit Nadeln oder Tenotom die Epiphysen und die benachbarten Partien der Diaphyse gereizt und dadurch meist Verkürzung des Knochens erzielt. Ferner will er dabei Verdickung des Knochens beobachtet haben, sobald der Reiz mehr die Epiphyse betraf, Verdünnung, je näher der Diaphyse er einwirkte.

Das Jahr 1877 bringt eine neue Veröffentlichung von OLLIER: „De l'excision des cartilages de conjugaison pour arrêter l'accroissement des os.“ Er beweist in derselben, dass vorübergehende Reizung des intermediären Knorpels, d. h. solche, die nur in beschränkter Ausdehnung und geringer Intensität eingewirkt, ohne wesentlichen Einfluss auf das Wachsthum bleiben kann, dass aber tiefer greifende Reize (so z. B. auch eitrige Entzündung oder eintretende Nekrosen) dasselbe hemmen. Entzündliche Reize, die das Mark oder Periost des Knochens betreffen, rufen vermehrtes Längenwachsthum hervor. Bei Excisionen aus dem Epiphysen-Knorpel der Ulna am distalen Ende bleibt die-

selbe gegenüber der der andern Seite verkürzt und es tritt secundäre Verkrümmung des nicht mit verletzten Radius derselben Seite auf.

Von HELFERICH stammt aus demselben Jahre eine einschlägige Arbeit. Er exstirpirte an 33 jungen Kaninchen im Alter von 1 bis zu 5 Wochen am distalen Ende der Ulna den Intermediärknorpel mehr minder vollständig und erzeugte stets dadurch Verkürzung und zugleich Verkrümmung der Extremität. Wie durch einen gleichzeitig angestellten Stiftversuch bewiesen wurde, stand das Wachsthum an dem betreffenden Knochenende völlig still, wenn der Knorpel in seiner Totalität entfernt war. HELFERICH giebt folgende Verkürzungstabelle: Es betrug die Differenz gegen die gesunde Seite (bei Excision des Knorpels nur der Ulna):

nach	8	Tagen	an	der	Ulna	0,1	mm,	am	Radius	— mm
„	25	„	„	„	„	4,6	„	„	„	1,1 „
„	39	„	„	„	„	7,0	„	„	„	1,1 „
„	1	Jahr	„	„	„	26,7	„	„	„	11,8 „

Immerhin war die Ulna in diesem Falle noch um 11,8 mm gewachsen, nämlich von 27,5 mm als Ausgangslänge, auf 39,3 als Endresultat.

Die eintretende Verkrümmung des Gliedes erklärt H. folgendermaassen. Der Radius wächst normal in die Länge, auf seiner einen Seite ist er aber durch die nicht mit wachsende (oder wenigstens nicht gleichmässig mit wachsende) Ulna, in deren Wunddefecte sich eine derbe fibröse (?) nicht dehnbare Narbe gebildet hat, fixirt, er muss sich also, um Platz für seine zunehmende Länge zu gewinnen, krümmen und wird seine Epiphysengrenzlinie und Gelenkfläche somit schief gestellt. Es ist nun aber die Ulna in ganzer Ausdehnung mit dem Radius verbunden, daher muss sie secundär an dieser Verkrümmung des Radius sich betheiligen, wie sie es im Experiment ja auch thut. H. vergleicht diesen Vorgang sehr passend mit den sogenannten Compensationsstreifen, die sich auch krümmen, wenn bei zunehmender Temperatur der eine der beiden zusammengelötheten Metallstreifen sich stärker ausdehnt, als der andere, und zwar sich so krümmen, dass ihre Convexität nach der Seite des sich stärker ausdehnenden Streifens gewendet ist.

Mikroskopisch hat H. regellos verlaufende Bindegewebszüge mit freien Kernen und Rundzellen durchsetzt gefunden, nur geringe Knorpelreste dazwischen, und die Knochenenden rareficirt, die Knochenbälkchen verschmälert. Periostale Auflagerungen fehlten völlig. Späterhin fand sich in vorgerückteren Stadien mitunter Verknöcherung in einigen Präparaten. HELFERICH hat aber nie Bildung von Pseudarthrosen beobachtet; einige Male waren Radius und Ulna knöchern mit einander verwachsen. Beiläufig erwähnt H., dass Haare reactionslos in

die Wunden eingeheilt waren, ein Befund, den auch ich mehrfach an meinen Präparaten beobachtet habe.

Weiterhin hat VOGT 1878 eine Anzahl Versuche über traumatische Epiphysenlösung und ihren Einfluss auf das Wachsthum der langen Knochen angestellt. Er bewirkte die Lösung der Epiphyse dadurch, dass er das derbe Periost rings um den Knochen durchschnitt und sodann die Epiphyse von der Diaphyse abhebelte. Aus den Erfolgen dieser Operationen leitet er dann folgende Schlüsse ab:

Einfache Abhebelung des Knorpels ohne grössere Verletzung desselben und ohne secundäre Entzündung einhergehend kann auch ohne Wachsthumshemmung wieder heilen. Erfolgte aber eine tiefere Verletzung des Knorpels oder trat Entzündung dazu, oder wurden die beiden Fragmente dislocirt, so resultirte mehr weniger bedeutende Verkürzung des Knochens. Doch auch wenn der Knorpel nicht weiter verletzt wurde, wenn jede Entzündung ausblieb, wenn die Enden gut aufeinander gepasst wurden, trat doch Verkürzung ein, sobald ein Gold- oder Kautschuckplättchen in den Spalt zwischen Knorpel und Knochen eingelegt wurde. VOGT erklärt diese Thatsache so, dass durch diese eingelegten Plättchen die Gefässschlingen, die an der Verknöcherungsgrenze normaler Weise gegen den verkalkten Knorpel vordringen und ihn zur Einschmelzung bringen, hieran verhindert werden und dass dadurch dem Knochen das Material zum weiteren Wachsthum entzogen ist. Den mikroskopischen Befund hat VOGT unberücksichtigt gelassen.

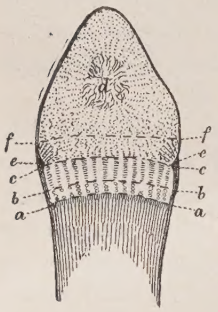
Es ist ferner 1879 von BIDDER ein in Bezug auf das Knochenwachsthum interessanter Fall veröffentlicht. Bei einem Kinde war der Indermediärknorpel einer Phalanx durch chronische Osteomyelitis zerstört, in Folge dessen stand das Längenwachsthum derselben völlig still, während das periostale Dickenwachsthum ungestört blieb.

Weiterhin will ich einen gleichfalls interessanten klinischen Fall, den OZENNE 1887 beschrieben hat, erwähnen, weil er in bestem Einklang mit meinen Resultaten steht. Es handelt sich um eine traumatische, sicher diagnosticirte Lösung der untern Epiphyse von Radius und Ulna ohne Dislocation bei einem Knaben von 10 Jahren. Dieselbe ist unter Fixationsverband glatt geheilt, ohne dass durch diese Verletzung das spätere Wachsthum des Vorderarms beeinträchtigt worden wäre. Auch eine Arbeit von LESER, die 1888 erschienen ist, hat Bezug auf meine Versuche. LESER hat die Epiphysenknorpel auf Kerntheilungsfiguren untersucht; und zwar hat er Mitosen, abgesehen von der Zellensäulenschicht, in deren am meisten nach der Epiphyse gekehrten Partien sie nur vereinzelt vorkommen, überall im Knorpel gefunden, besonders häufig jedoch in den dicht oberhalb der Zellensäulenschicht gelegnen Partien.

Ueber denselben Gegenstand hat auch G. RETZIUS einen Aufsatz

veröffentlicht, in welchem er angiebt, dass er die Kerntheilungsbilder ganz besonders in den Teilen des Knorpels, die unmittelbar an die Zone der in Reihen gestellten Knorpelzellen angrenzen, beobachtet hat.

Nach Aufführung vorstehend genannter Arbeiten, aus denen mit Sicherheit die Bedeutung des Verbindungsknorpels für das Knochenwachsthum im Allgemeinen hervorgeht, wende ich mich nun zu meiner eigentlichen Aufgabe, nämlich die einzelnen Theile desselben in ihrer Bedeutung specieller zu würdigen.



Vorher möchte ich jedoch noch einmal an der Hand nebenstehender schematischer Skizze ganz kurz das Bild, welches ein Längsschnitt durch das Ende eines wachsenden Röhrenknochens darbietet, erläutern.

Bis zur Linie a—a reicht der neugebildete Knochen der Diaphyse; hier ist die Ossificationsgrenze, hier dringen die Blutgefässschlingen des Knochens gegen den Knorpel an und schmelzen ihn ein. Bis c—c reicht die sogenannte Zellensäulenschicht, die durch säulenartig angeordnete Reihen abgeplatteter Knorpelzellen gebildet wird. In den am nächsten an a—a angrenzenden Theilen sind diese Zellen jedoch vergrössert, wie LESER es nennt, hydropisch verändert, mit bläschenartigem Kerne versehen. Diese Schicht reicht etwa bis b—b, ist jedoch nicht scharf abgegrenzt, sondern geht mehr allmählich in die Zone der platten in Reihen gestellten Zellen über. Oberhalb c—c liegt sodann die Wucherungszone des Knorpels, und zwar ist dabei die etwa bis f—f reichende Partie dadurch ausgezeichnet, dass hier die Zellen relativ dicht stehen, oft schon zu Gruppen oder kürzeren Reihen angeordnet sind und dass in dieser Schicht LESER und RETZIUS besonders viele Mitosen gefunden haben. In den übrigen Theilen des Knorpels stehen die Zellen unregelmässig nur um den epiphysären Knochenkern d herum findet sich noch eine niedrige Zone von Zellsäulen, die radiär zum Mittelpunkt des Knochenkernes gestellt sind und in ihren centralen Partien auch hydropische Veränderungen der Zellen aufweisen. Bei e findet sich die von RANVIER beschriebene Encoche d'ossification, eine ringförmig den Knorpel umgebende Verdickung des Periosts, von der aus häufig periostale Bindegewebsfasern in den Knorpel auszustrahlen scheinen.

An diese histologischen Vorbemerkungen schliesse ich noch einige Worte über das Material, das ich benutzte und über die Behandlung desselben an.

Es dienten mir zu meinen Experimenten junge Kaninchen im Alter von 12 Tagen bis zu 4 Wochen. Dabei benutzte ich in den verschiedenen Versuchsserien immer die Thiere je eines Wurfes. Die

Operationen führte ich in der Weise aus, dass ich möglichst unter antiseptischen Cautelen den Thieren an der Vorderextremität entsprechend dem unteren Ende von Ulna und Radius die Haut in der Längsrichtung spaltete, dieselbe seitlich zurückpräparirte und die auf den Knochen liegenden Sehnen, so gut wie es ging, vom Knochen zurückschob und nunmehr an verschiedenen Stellen den intermediären Knorpel von Ulna und Radius oder von ersterer allein theils einfach quer durchtrennte, bis abnorme Beweglichkeit vorhanden war, theils ganze Scheiben von 0,5—1 mm Dicke mit dem Perichondriumringe excidirte. Sodann wurde ein die Enden fixirender aseptischer Verband angelegt, der die etwa mögliche Dislocation verhindern sollte. Alle Wunden heilten gut und ohne jede Eiterung und benutzten die Thiere ihr Bein in dem Verbande sehr bald wieder; derselbe wurde nach 6—8 Tagen stets entfernt und war dann die Hautwunde immer schon völlig geschlossen. Die Thiere wurden sodann in verschiedenen Intervallen getödtet, die Knochen aus den Weichtheilen herausgelöst und sodann an denselben die Maasse genommen. Dann wurden sie zum Theil in FLEMMING'scher Lösung, zum Theil in Chromsäure, zum Theil in Pikrinsäure fixirt, mit Alkohol nachgehärtet, in Salpetersäure (5 %) entkalkt und in Alaunkarmin en bloc durchfärbt; die meisten Präparate habe ich sodann in Paraffin eingebettet und nur einige grössere in Celloidin. Die mit dem Mikrotom gefertigten Schnitte wurden in Canadalbalsam eingeschlossen.

Meine erste Versuchsreihe stellte ich in folgender Weise an. Von acht jungen Kaninchen desselben Wurfes wurde am 12. Lebenstage eines getödtet, um zunächst einmal die Ausgangsmaasse der Knochen am Tage der Operation zu haben, denn es lässt sich annehmen, dass bei den doch fast ganz gleich grossen Thieren an demselben Lebenstage die Knochen auch annähernd dieselbe Grösse und Länge haben würden. Sodann wurde bei den übrigen Thieren in der oben beschriebenen Weise das untere Ende des Radius und der Ulna freigelegt und genau in der Grenze von Diaphyse und Epiphysen-Knorpel, also in obiger Zeichnung der Linie a entsprechend, einfach mit glattem Schnitte der Knochen quer durchtrennt, und zwar bei 5 Thieren Ulna und Radius an der rechten Vorderextremität und bei 2 Thieren die Ulna allein an der linken Extremität. Diese Thierchen ertrugen im allgemeinen die Operation gut und liefen mit dem geschienten Beine ganz gut umher. Am 3. Tage tödtete ich sodann eines der an beiden Knochen operirten Thiere und präparirte die Knochen in der oben angegebenen Weise; es wurden natürlich die Knochen beider Vorderextremitäten conservirt, um stets neben dem operirten, auch das normale Präparat aus dem entsprechenden Alter zu haben. Am 7., sodann am 12., 17., 26. und 35. Tage wurde wieder je ein Thier getödtet und die

betreffenden Knochen präparirt. Das durch die Messungen gewonnene makroskopische Resultat ist nun folgendes:

Das zum Vergleich zur Feststellung der Ausgangsgrösse der Knochen am Operationstage getödtete Thier maass an der Ulna 29 mm, am Radius 23 mm. Bei den operirten Thieren waren die nachstehenden Befunde zu verzeichnen.

	Operirte Seite		Nicht operirte Seite	
No. I nach 3 Tagen	U. 29	R. 23	U. 29,5	R. 23,5
„ II „ 7 „	„ 32	„ 25	„ 33	„ 26
„ III „ 12 „	„ 35	„ 28,5	„ 36	„ 29,3
„ IV „ 17 „	„ 41	„ 34	„ 41	„ 34
„ V „ 26 „	„ 45	„ 35,75	„ 45,5	„ 36
„ VI „ 35 „	„ 48	„ 38	„ 48,5	„ 38,5

(U = Ulna, R = Radius.)

Die Differenzen betragen also

bei I nach 3 Tagen	für d. U. 0,5	R. 0,5
„ II „ 7 „	„ „ 1,0	„ 1,0
„ III „ 12 „	„ „ 1,0	„ 0,8
„ IV „ 17 „	„ „ 0,0	„ 0,0
„ V „ 26 „	„ „ 0,5	„ 0,25
„ VI „ 35 „	„ „ 0,5	„ 0,5

Diese minimalen Differenzen, die im höchsten Falle nur 1,0 mm betragen, sind jedenfalls unwesentlich, denn bei den schwierigen Verhältnissen, welche die Knochen mit ihren Krümmungen und wohl stets vorkommenden Asymmetrien bieten, sind Messungsfehler bis zu 1 mm unvermeidlich. Immerhin ist es ja möglich, dass, wie auch VOGT es für die einfachen Epiphysenlösungen zugiebt, vielleicht eine geringe Verzögerung im Wachsthum (keine dauernde Hemmung) durch die von mir in diesen Fällen ausgeführte glatte Abtrennung des Epiphysenknorpels hervorgerufen wäre. Einen wesentlichen Einfluss auf das Wachsthum hat die erwähnte Operation jedenfalls nicht ausgeübt, denn eine irgendwie beweisende Verkürzung auch nur eines der verletzten Knochen ist nicht eingetreten, selbst nach 35 Tagen nicht, wo dieselbe, wenn überhaupt vorhanden, doch sicher schon nachweisbar sein müsste. Diese Beobachtung von mir steht in bestem Einklang einmal mit dem von OZENNE veröffentlichten Falle von traumatischer Epiphysenlösung an Radius und Ulna, sowie mit den oben angeführten Befunden von OLLIER und anderen Autoren, die gleichfalls constatirten, dass glatte Ablösung des Knorpels ohne tiefere Zerstörung desselben oder der nächsten Theile der Diaphyse und ohne folgende Entzündung auch heilen kann ohne Einfluss auf das Wachsthum des Knochens zu gewinnen.

Erklären möchte ich diese Thatsache im Anschluss an VOGT dadurch, dass bei diesen glatten Abtrennungen, bei denen die Dislocation

der beiden Theile vermieden wird, bald eine Art Verklebung eintritt und dann wieder wie vorher die Gefässschlingen vom Knochen aus gegen den Knorpel andringen, ihn einschmelzen und der gewöhnliche Neubildungsprocess von Knochen auf Kosten des Knorpels damit wieder hergestellt wird. Denn wenn dieses Andringen der Knorpelgefässe gehindert oder unmöglich gemacht wird, dadurch, dass man eine Dislocation der Knochenenden gegen einander herbeiführt oder eine schon vorhandene bestehen lässt, oder ein Kautschuckplättchen zwischen Diaphyse und Epiphyse einschiebt, so tritt auch stets, wie dies klinische und experimentelle Erfahrungen lehren, secundäre Verkürzung des Knochens auf (siehe VOGT, Untersuchungen). Was nun den mikroskopischen Befund bei den einzelnen Präparaten betrifft, so findet sich bei dem Thiere No. I, das am 3. Tage nach der Operation getödtet wurde, an der Ulna genau zwischen dem Knochen der Diaphyse und dem Epiphysenknorpel ein Spaltraum, welcher durch eine wie geronnenes Fibrin aussehende Masse fast ganz erfüllt ist; innerhalb derselben liegen zahlreiche Zellen mit starkgefärbten Kernen. Von den Markräumen aus scheinen zahlreiche bindegewebige Stränge in diese Massen hineinzuwuchern, ebenso von dem Periost aus. Am Knorpel ist nichts Abnormes bemerkbar, dagegen sind die neugebildeten Knochenbälkchen der Diaphyse bedeutend verdickt gegenüber denen der Ulna von der gesunden Seite. Die Erklärung dafür liegt wohl in der Thatsache, dass auf der verletzten Seite die Neubildung in die Länge wohl etwas verzögert ist, während dagegen die Läsion geradezu als Reiz auf die Osteoblasten in den benachbarten Theilen der Diaphyse gewirkt hat und sie zu vermehrter Thätigkeit veranlasst hat, was natürlich eine Verdickung der einzelnen Knochenbälkchen und Auflagerungen in den betreffenden Partien nach sich ziehen musste.

Die mikrometrische Messung der Höhe der Zone der Knorpelzellensäulen ergiebt für die operirte Ulna 975 μ, für die gesunde 930 μ. Am Radius desselben Thieres hat der Einschnitt offenbar nur einen Theil der Epiphyse von der Diaphyse losgetrennt, denn es findet sich mikroskopisch ungefähr nebenstehendes Bild. Bei a dringt der Schnitt an der Grenze von Knorpel und Knochen ein und trennt diese beiden Gewebe bis gegen b glatt von einander, von dort an jedoch weicht er völlig in die Diaphysensubstanz hinein ab. Der Spalt von a—b ist nun in gleicher Weise ausgefüllt wie bei der Ulna und hier ist auch die Einschmelzung des Knorpels vorläufig behindert gewesen, denn der Knorpel ragt weiter centralwärts als an der übrigen Ossificationsgrenze, wo die normalen Vorgänge ungehindert verlaufen konnten. Es misst die Zellensäulenschicht denn auch entsprechend der Linie 1 etwa

532 μ und entsprechend der Linie 2 im Durchschnitt 435 μ, während an dem gesunden Radius der anderen Seite die genannte Schicht eine Höhe von 584 μ in ihrer axialen Partie besitzt.

An der Ulna des Thieres No. II, das 7 Tage nach der Ausführung des Schnittes getödtet wurde, findet sich die Höhe der Knorpelzellensäulenschicht gleich 815 μ im Durchschnitt, gegen 842 μ auf der gesunden Seite. Doch ist die Verknöcherungsgrenze keine so annähernd gleichmässige wie bei normalen Präparaten, sondern an einzelnen Stellen ragen einige Zellenreihen in die Knochensubstanz der Diaphyse hinein, gleich als wäre ihre Einschmelzung verzögert oder behindert gewesen. Die diaphysären Knochenbälkchen erscheinen nur noch bei aufmerksamer Betrachtung etwas mehr verdickt und gröber, als sie es in dem normalen Bilde der anderen Vorderextremitäten sind. Die Verhältnisse am Radius sind die anologen. Höhe der Zellenreihenzone am durchschnittenen Radius 518 μ, am unverletzten 616 μ.

Beim dritten Thiere, nach 12 Tagen getödtet, findet sich auf der verletzten Seite am Radius an einzelnen Stellen der Verknöcherungslinie eine gewisse Unordnung in der Stellung der Knochenbälkchen, dieselben erscheinen geknickt oder verbogen oder schief gestellt, an denselben Stellen ragt auch meist der Knorpel etwas weiter gegen die Diaphyse vor, als an den benachbarten normalen Partien. Die Zellensäulenschicht misst 611 μ gegen 603 μ auf der unverletzten Seite. An der Ulna sind bei diesem Thiere Differenzen zwischen der verletzten und gesunden Seite nicht mehr nachweisbar, hier sind die Maasse: operirte Ulna 895 μ, — nicht operirte 842 μ.

Das nach 17 Tagen getödtete Thier war eines von denen, welchen nur die Ulna durchschnitten war. Bei ihm lässt sich nur an einer Partie der Ossificationslinie eine ähnliche Verschiebung und Unregelmässigkeit in der Anordnung der Knochenbälkchen der Diaphyse nachweisen, wie an dem Radius des vorigen Thieres, sonst ist das mikroskopische Bild ein normales. Die Maasse der Zellsäulenschicht sind folgende:

Linke operirte Ulna		851 μ.
Rechte nicht operirte Ulna		744 μ.
Linker Radius	nicht operirt	699 μ
Rechter Radius		682 μ

Ich bemerke hier besonders, dass ich die mikrometrischen Messungen der verschiedenen Knochen stets möglichst an identischen Stellen, nämlich in der Axe des Knochens gemacht habe.

Bei den nächsten nach 26 und 35 Tagen geopferten Thieren kann ich in den mikroskopischen Bildern Differenzen zwischen operirten und unverletzten Knochen nicht mehr erkennen. Bei beiden findet sich die gleiche schön regelmässige Anordnung der Zellenreihen und der jungen Knochenbälkchen. Der Eingriff ist also bei ihnen vorüber-

gegangen, ohne dauernde Folgen zu hinterlassen. Die Maasse der Knorpelzellsäulenschicht sind nach 26 Tagen:

Linke operirte Ulna		672 μ
Rechte gesunde „		648 μ
Linker Radius	unverletzt	602 μ
Rechter Radius		606 μ

Von dem nach 35 Tagen getödteten Kaninchen sind mir leider später die Präparate verloren gegangen, sodass ich die mikrometrischen Messungen nicht mehr ausführen konnte.

Das letzte Thier dieser Reihe wurde, da bei ihm äusserlich nicht die geringste Verkürzung nachzuweisen war, und weil die eben angeführten Resultate darauf hinweisen, dass die glatte Durchschneidung an der Grenze zwischen Diaphyse und Epiphyse heilen kann ohne dauernde Beeinträchtigung der normalen Wachsthumsvorgänge, nicht erst getötet, sondern vorher noch zu einem zweiten Versuche benutzt.

Um nun das Resultat dieser ersten Versuchsreihe kurz zusammenzufassen, so kann ich mich nur der schon von Ollier und Vogt ausgesprochenen Ansicht anschliessen, dass glatte Abtrennung der Epiphyse von der Diaphyse ohne wesentlichen Einfluss auf das Längenwachsthum des betreffenden Knochens ist. Immerhin mag anfänglich eine geringe Verzögerung im Wachsthum sich geltend machen, bis sich die Knochenwunde wieder geschlossen hat, dann aber später geht dasselbe in normaler Weise weiter und es tritt völlige Restitutio ad integrum ein, wie meine mikroskopischen Befunde beweisen.

Ich komme nun zur Besprechung meiner zweiten Versuchsreihe. Zu derselben benutzte ich junge Kaninchen, die bereits 4 Wochen alt waren, und das eine aus dem ersten Versuch am Leben gebliebene, das nun allerdings bereits fast 7 Wochen alt war. Da die einfache Durchscheidung nicht dazu genügt hatte, eine Verkürzung des Knochens herbeizuführen, versuchte ich jetzt eine etwa 0,5 - 1,0 mm breite Scheibe aus dem Intermediärknorpel herauszuschneiden, wobei ich mich möglichst dicht an die Diaphyse zu halten suchte. Ich machte diese Operation an vier Thieren, indem ich nach Freilegung des peripheren Ulnaendes durch zwei glatte Querschnitte eine Knorpelscheibe von der angegebenen Dicke isolirte und dieselbe mit dem umgebenden Perichondriumringe möglichst in toto auf einmal entfernte. Dann wurde die Hautwunde wieder vernäht und ein Verband angelegt.

Die Thierchen befanden sich anfangs durchaus wohl, doch am 4. Tage nach der Operation starb das eine plötzlich unter den Erscheinungen eines Darmkatarrhs, ein zweites ebenso nach 11 Tagen; die beiden andern blieben gesund und wurden 29 und das letzte 42 Tage später getödtet.

Die Längenmessung der präparirten Knochen ergab nun:

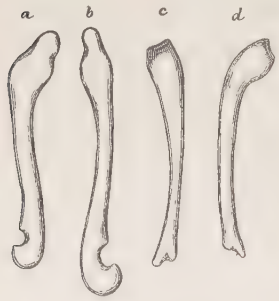
	operirte Seite	gesunde Seite
No. I	nach 4 Tagen U. 35 mm R. 28 mm.	U. 35 mm R. 28 mm
„ II	„ 11 „ „ 42 „ „ 36 „	„ 44 „ „ 36 „
„ III	„ 29 „ „ 48 „ „ 44 „	„ 54 „ „ 44 „
„ IV	„ 42 „ „ 52 „ „ 45—48 mm	„ 58 „ „ 48 „

Die Differenzen sind also bei

No. I U. 0 mm R. —
„ II „ 2 „ „ —
„ III „ 6 „ „ —
„ IV „ 6 „ „ —
(U = Ulna, R = Radius.)

Dazu kommt noch, dass bei Nr. III die Vorderarmknochen derart verkrümmt waren, dass ihre Gelenkflächen nach auswärts sahen, der Fuss also in Abduction stand; ferner waren die untern Enden verdickt. (Siehe nebenstehende Zeichnungen.)

a und d = Ulna und Radius, von der verletzten Seite, beide stark verkrümmt.
b und c = Ulna und Radius, normal zum Vergleich von der unverletzten Seite.



Von unten gesehen.

Am Radius besonders liess sich durch Messung nachweisen, dass an seiner convexen Seite seine Länge 48 mm betrug, während an der concaven, der Ulna zugewandten Seite, sie nur 45 mm erreichte.

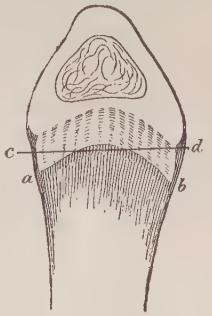
Dieselbe Verkrümmung fand sich auch an den Knochen des Thieres Nr. IV (an der verletzten Extremität) vor.

Diesmal habe ich also durch die Excision einer Knorpelscheibe ein thatsächliches Zurückbleiben im Wachsthum erzeugt; dasselbe war jedoch nach 4 Tagen noch nicht nachweisbar, aber bereits nach 11 Tagen war eine Verkürzung von 2 mm vorhanden und nach 26 resp. 35 Tagen von 6 mm. Solche Differenzen können nicht mehr auf Messungsfehlern beruhen, sondern müssen als beweisend für eine eingetretene Wachsthumshemmung gelten.

Ich komme jetzt zur Erläuterung der mikroskopischen Befunde an diesen Präparaten, möchte dabei aber noch eine Bemerkung vorausschicken, weil mir dieselbe für das Verständniss der Präparate von wesentlicher Bedeutung zu sein scheint.

Wie ich an den Präparaten gleichaltriger unverletzter Knochen gefunden habe, verläuft nämlich die Ossificationsgrenzebene mitunter kuppelförmig, sodass man auf einem Längsschnitte durch diese Partie des Knochens die Verknöcherungsgrenze als eine stark gebogene Linie zu Gesicht bekommt, deren Convexität nach der Epiphyse gewandt ist, wie nebenstehendes Schema es in der Linie a—b veranschaulicht. In solchen Fällen trifft man bei Querschnitten durch diese Gegend natur-

gemäss sehr leicht in der Axe des Knochens schon die Verknöcherungsgrenze und trennt dort den Epiphysenknorpel von der Diaphyse ab, während rings in der Peripherie noch ein ringförmiges Knorpelstück an der Diaphyse sitzen bleiben muss, wie ich dies in nebenstehender schematischer Zeichnung durch die Linie c—d anzudeuten versucht habe.



Dieses Verhältniss macht sich denn auch schon bei dem Präparate des Thieres No. I, dem eine circa 0,5 mm breite Knorpelscheibe excidirt und das 4 Tage später gestorben war, ohne dass Verkürzung bereits nachweisbar gewesen wäre, bemerkbar (Tafel XVI Fig. 1). Es ist, wie das mikroskopische Präparat zeigt, an der einen Seite des Knochens eine niedrige Partie von der Knorpelzellensäulenschicht an der Diaphyse sitzen geblieben, während dieselbe sonst völlig gelöst und entfernt ist. Es ist an der Epiphyse eine ziemlich breite Schicht aus der Weicherungszone des Intermediärknorpels stehen geblieben, während die Knochenbälkchen der Diaphyse, abgesehen von der erwähnten schmalen Stelle, frei in den Wundspalt hineinragen und die Markräume auch direct in denselben münden. Die Knochenbälkchen sind verdickt und stehen nicht mehr regelmässig. Ausgefüllt ist der Wundspalt nun grösstentheils durch fibrinöse, fädige Gerinnungsmassen, welche zahlreiche abgeblasste rothe Blutkörperchen in sich schliessen. Das Periost ist auf der einen Seite des Knochens stark verdickt und zellreich und schickt einen gleichfalls zellreichen Fortsatz und Gewebskeil in die Gerinnungsmassen hinein. Ebenso geht von den diaphysären Markräumen aus augenscheinlich eine Organisation der Gerinnungsmassen vor sich. An der andern Seite des Knochens ist zwar noch ein Defect im Periost, doch beginnt auch dort bereits von den Rändern her sich junges Gewebe gegen die Knochenwunde vorzuschieben. Es lässt sich also wohl aus diesem Präparate der Schluss ziehen, dass eine derartige Knochenwunde zuerst durch einen Bluterguss und Gerinnungsmassen gefüllt wird und diese dann wieder durch junges besonders vom Periost geliefertes Gewebe verdrängt oder organisirt werden.

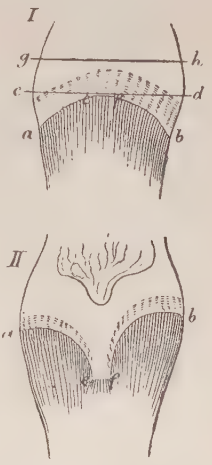
Das Thier No. II, nach 11 Tagen gestorben, giebt nun das Bild eines späteren Stadiums (Tafel XVI Fig. 2). Hier ist es gelungen, den Knorpel in ganzer Ausdehnung von der Diaphyse abzutrennen, dagegen ist bei dem Versuch der Entfernung der ausgeschnittenen Knorpelscheibe auf der einen Seite des Knochens ein Stück davon mit dem Periost haften und im Wundspalt liegen geblieben. Jedenfalls ist aber die Diaphyse ganz frei von Knorpel, während wieder an der Epiphyse eine mittelbreite Schicht desselben stehen geblieben ist. Von Gerinnungsmassen ist nichts mehr zu sehen, dagegen ist der ganze Wundspalt, dessen ursprüngliche Schnittränder sich noch ziemlich sicher abgrenzen

lassen, ausgefüllt von einem Gewebe, das auf der Grenze zwischen Knorpel und Bindegewebe steht, denn bald findet sich eine homogene Grundsubstanz mit Zellen darin, die ganz den Knorpelzellen gleichen mitunter auch gruppenförmig angeordnet sind, bald dagegen geht dieses Gewebe in ein anderes über, dessen Grundsubstanz ausgesprochen fasrig ist, dessen Zellen den Charakter der Knorpelzellen verloren haben, an noch anderen Stellen findet sich dann deutlich Bindegewebe. Alles dieses Gewebe stammt augenscheinlich fast ganz von dem Periost, denn es steht in continuirlichem Zusammenhang mit demselben und man kann direct zahlreiche Fasern beobachten, die vom Periost ausgehend in dem neuen Gewebe sich verlieren. Ein Defect im Periost ist wie bei dem vorigen Präparate nirgends mehr vorhanden, dagegen erscheint das Periost verdickt, geschwellt und legt sich in den Wundspalt hinein. Dicht über der Diaphyse hat dasselbe (u. zw. bes. auf der einen Seite) eine grosse Menge jungen Knorpels producirt und an dieser Stelle glaube ich auch deutlich eine directe, nach metaplastischem Typus einhergehende Ossification des jungen Knorpels gesehen zu haben.

Man hat bei der Betrachtung dieses Präparates den Eindruck, als habe die Verletzung wie ein starker Reiz auf das Periost eingewirkt und dasselbe zu einer bedeutenden Gewebsproduction veranlasst, dessen höchste Stufe der Knorpel ist; diesem Knorpel aber fehlt die normale Fähigkeit als Substrat für die Knochenneubildung zu dienen, denn es fehlen ihm die dafür unerlässlichen Bedingungen, nämlich die Reihenstellung der Knorpelzellen, ihre Vergrösserung und die sonstigen hiermit verbundenen Structurveränderungen, wie dieselben an normalen Knochen sich an der Verknöcherungsgrenze und den benachbarten Partien finden. Statt dessen ist ihm nur ein geringes Vermögen geblieben, auf atypische, regellose Art Knochen anzubilden, ein Vorgang, der natürlich für das nöthige Wachsthumsmaass nicht ausreicht und daher zur Verkürzung führen muss, und in der That hat sich denn auch an diesem Präparate bereits nach 11 Tagen eine Verkürzung von 2 mm gegenüber dem gesunden Gliede gezeigt.

Für das nun folgende 26 Tage nach der Operation getödtete Thier gilt besonders das oben über die kuppelförmige Gestaltung der Verknöcherungsgrenze Gesagte, denn bei ihm ist augenscheinlich bei der Excision der Knorpelscheibe in dem axialen Theile des Knochens der Knorpel völlig von der Diaphyse entfernt, während in der Peripherie rings eine mehr oder minder dicke Schicht des Knorpels stehen geblieben ist. Das daraus resultirende Verhältniss wird durch das mikroskopische Bild des betreffenden Präparates veranschaulicht (Tafel XVI Fig. 3). In seiner Axe hat der Knochen aufgehört zu wachsen, weil ihm das nöthige Material zur Neubildung von Knochensubstanz — nämlich die zur Einschmelzung bestimmte Zellensäulenschicht — fehlte. In den peripheren

Partien dagegen, wo noch normaler Knorpel der Diaphyse aufsass, hat dieser auch weiterhin das nöthige Material liefern können, und an diesen Stellen ist die Diaphyse denn auch weiter in die Länge gewachsen und zwar um so mehr, je mehr vom Knorpel an ihr haften geblieben war. Die beiden nebenstehenden Zeichnungen werden meine Ansicht, hoffe ich, näher erläutern. I sei das normale Knochenpräparat, das die Schnittführung erklären soll. II das schematisch wiedergegebene Bild des pathologischen Präparates. a—b ist die Verknöcherungsgrenze, c—d und g—h sind die beiden geführten Querschnitte, die zwischen ihnen liegende Knorpelscheibe ist entfernt worden. Auf diese Weise ist bei e—f die Diaphyse ganz von Knorpel entblösst und dort hat nun das Wachsthum ganz oder fast ganz aufgehört; von e bis a und von f—b ist Knorpel und zwar je weiter nach aussen, desto mehr stehen geblieben, dort ist denn nun auch die Diaphyse weiter gewachsen und zwar auch am meisten dort, wo die Knorpelschicht am höchsten war, nämlich bei a und b und nach der Axe zu immer weniger, weil dort die Knorpelschicht immer dünner wurde, bis sie bei e und f ganz aufhörte und mit ihr auch das Wachsthum. Auf diese Weise ist in dem Präparate die eigenthümliche Trichtergestalt der Ossificationsgrenze zu Stande gekommen. Dies soll die Figur II erläutern helfen. Ich glaube, dass dieser Befund an dem Präparate sich auf andere Weise nicht erklären lässt, wie ich andrerseits denn auch glaube, dass diese Erklärung einfach und einleuchtend ist und vor allem, dass sie ein Beweis dafür ist, dass überall da, wo der Knorpel definitiv von der wachsenden Diaphyse entfernt wird, auch das Wachsthum derselben aufhört und dauernd beeinträchtigt bleibt, selbst wenn später sich dort ein neues knorpliges oder knorpelähnliches Ersatzgewebe bildet. Ferner wird meiner Ansicht nach dadurch bewiesen, dass die der Verknöcherungsgrenze am nächsten liegenden Partien, nämlich die Schicht der in Reihen gestellten Zellen, und ganz besonders auch noch die dicht darüber gelegene Wucherungsschicht wichtig sind für den Fortgang des Wachsthums der Diaphyse. Dabei gestaltet sich das Wachsthum um so günstiger, je dicker die Schicht ist, die von der eben genannten Zone am Diaphysentheil haften bleibt, um so ungünstiger, je schmaler sie ist.



Was die weiteren Verhältnisse an dem mikroskopischen Präparate dieses Falles betrifft, so findet sich auch hier das Periost verdickt. Es hat in die Wunde des Knochens hinein ein Ersatzgewebe gebildet, das in den seitlichen Partien den ausgesprochenen Charakter des

hyalinen Knorpels trägt, in der Axe des Knochens dagegen, wo es in den Trichter der Diaphyse hineinragt, richtiger gesagt, hineingezerrt erscheint, ist seine Grundsubstanz streifig und faserig, an einzelnen Stellen fast ganz frei von Zellen, während an anderen es wiederum knorpelartig wird, an noch anderen dem Bindegewebe gleicht. Nach der Diaphyse wie der Epiphyse zu geht es scheinbar direct in den Knochen über. Dieser Stelle entsprechend springt der Knochenkern der Epiphyse besonders stark gegen die Diaphyse vor bei e in der Figur 3 der Tafel, gleichsam als wäre er mit in die trichterartige Vertiefung derselben hineingezerrt worden.

Ganz ähnlich ist der Befund bei dem Thiere No. IV, das nach 42 Tagen geopfert wurde; auch hier ist zunächst der Peripherie des Knochens ein Knorpelring an der Diaphyse haften geblieben, welcher in den entsprechenden Partien einen gewissen Fortgang des Wachsthums ermöglicht hat. Natürlich ist dasselbe nicht so ausgiebig, wie ein völlig normales, denn es war ja die Wucherungszone ganz oder fast ganz entfernt und nur die activ nicht mehr thätige Zellsäulenzone am Knochen haften geblieben. Derselbe wuchs also dort noch, so lange er in der genannten Zone noch vorbereitetes Material für seine Neubildung fand, stand still im Wachsthum, sobald dies Material verzehrt war, was überall da, wo die Wucherungszone ganz entfernt war, relativ früh eintreten musste, während in den ganz peripheren Partien, wo noch ein schmaler Streifen der Wucherungszone mit erhalten geblieben war, wo also, wenn auch in beschränktem Maasse, eine geringere Neubildung von Knorpel doch noch stattfand, dieser Wachsthumsstillstand etwas später eintrat. Daneben mag auch die absolute Aufhebung des Wachsthums in der Axe eine hemmende Rückwirkung auf die peripheren Theile ausgeübt haben. In diesem Präparat macht sich in der Axe des Knochens eine Neigung des jungen Gewebes zur frühen Verknöcherung bemerkbar, denn dort springt eine Knochenspitze aus dem Epiphysenkerne vor, die schon fast bis zum Knochen der Diaphyse hinüberreicht. Sonst ist auch hier der Spalt zwischen den gesetzten Schnitten durch atypisch und regellos angeordnetes Knorpelgewebe ausgefüllt.

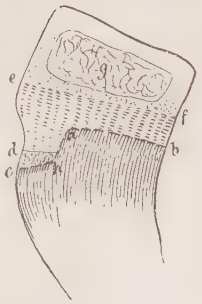
Ich erkläre die bei diesen Thieren zu Stande gekommene Verkürzung dadurch, dass im Centrum der Diaphyse derselben alles Material zum Wachsthum entzogen war, und in den peripheren Theilen sich ihr nur ein beschränktes Material darbot, weil der grösste Theil der Wucherungszone, in welcher der Knorpel sich immer wieder neu regenerirt, dauernd entfernt war und demgemäss auch dort das Wachsthum des Knochens beeinträchtigt sein musste. Um nun doch auch das Verhalten der gesunden Ulna bei diesen Thieren nicht ganz ausser Acht zu lassen, so erwähne ich, dass das mikroskopische Bild bei diesen

ein völlig normales war und gebe in der Folge die Höhen der Zellensäulenzonen bei ihnen an. Dieselben betragen bei:

No. I (31 Tage alt) 576 μ
„ II (58 „ „) 425 μ
„ III (58 „ „) 542 μ
„ IV (69 „ „) 584 μ

Dagegen misst die oben besprochene stehen gebliebene Schicht derselben Zone bei dem Thier No. III bis höchstens 389 μ an der operirten Ulna und bei No. IV bis zu 398 μ. Dies würde mit einer mir von Herrn Professor SCHWALBE mitgetheilten Beobachtung übereinstimmen, dass nämlich die Höhe der Zellensäulenschicht, die ja rein passiv von der grösseren oder geringeren Intensität der Wucherungsvorgänge in der über ihr gelegenen Wucherungszone abhängt, in einem annähernd festen Verhältniss zur lebhafteren oder geringeren Wachsthumsenergie des Knochens an der betreffenden Stelle steht, indem umgekehrt in analoger Weise sich aus der unbedeutenden Höhe der stehen gebliebenen Wucherungszone die Niedrigkeit der Zellsäulenschicht und damit die Beeinträchtigung des Wachsthums des Knochens erklären liesse.

Bei den Thieren No. III und IV haben sich an den zwar unverletzten, doch durch die Verkürzung der Ulna stark verkrümmten Radien besondere, interessante Verhältnisse im Verbindungsknorpel entwickelt. Bei No. IV ist in Folge der starken Verkrümmung an der convexen Seite des Radius entschieden durch die dort geschehene Dehnung eine spontane Lösung des Knorpels von der Diaphyse zu Stande gekommen. Die näheren Details des Vorganges will ich versuchen an der Hand nebenstehender, nach dem mikroskopischen Präparate in schematischer Weise entworfener Zeichnung zu demonstriren. Bis zur Linie c—h—a—b reicht der diaphysäre Knochen, welchem von a—b in normaler Weise die Zellensäulenschicht des Knorpels aufsitzt, deren Höhe hier 355 μ beträgt; dort ist denn auch der Knochen regelrecht gewachsen. In der Partie von c—h muss aber vor einiger Zeit eine Lösung zwischen Knorpel und Knochen entstanden sein, denn bei c—h enden die Knochenbälkchen plötzlich, die auch hier wie überall, wo ihr Längenwachsthum gestört ist, stark verdickt und plump sind: der Raum von der Linie c—h bis zur Linie d ist durch Bindegewebe ausgefüllt, in welches von den Markräumen aus Gefässschlingen hineingewachsen sind. Die Zellenreihen des Knorpels haben hier die ansehnliche Höhe von 1276 μ (an einigen Stellen) erreicht, weil, wie ich es mir erkläre, an ihrem dem Knochen



c-h-a-b = Verknöcherungsgrenze.
e-f = Linie bis zu der die Zellenreihenschicht sich erstreckt.
g = Knochenkern der Epiphyse.

zugewandten Ende die Einschmelzung durch die Gefässe des Knochens, die sonst dort stattfindet, in Folge der spontanen Lösung aufgehoben war, während doch am anderen, der Epiphyse zugekehrten Ende ihre normale Verlängerung durch die intacte Wucherungszone des Knorpels ruhig fortging, wie an den anderen Partien des Knorpels. Ganz ähnlich verhält es sich mit dem Radius von No. III, auch dort ist an der convexen Seite des Knochens plötzlich die Höhe der Zellenreihenschicht auf 709 μ gestiegen, während sie dicht daneben in den axialen Theilen des Knochens nur halb soviel nämlich 354 μ ausmacht; eine directe Lösung des Knorpels von der Diaphyse ist hier aber nicht erkennbar. Dagegen sind besonders in den mittleren Theilen des Knochens die Zellenreihen alle stark nach der concaven Seite desselben mit ihren Spitzen umgebogen. Die Höhe der gleichen genannten Schicht misst an den gesunden Radien der beiden Thiere bei No. III 443 μ, bei No. IV 310 μ.

Nachdem ich so in dieser Reihe von Experimenten versucht hatte, den Werth der unmittelbar an die Diaphyse angrenzenden Theile des Knorpels zu erforschen, sollte es die Aufgabe einer dritten Versuchsreihe sein, das Verhalten des Knochens zu beobachten, wenn die mehr an den epiphysären Knochenkern grenzenden Schichten des Verbindungsknorpels verletzt oder entfernt wurden.

Zu diesem Zweck legte ich erstens bei 3 Kaninchen (4 Wochen alt) einen einfachen Querschnitt möglichst distal von der Zellensäulenschicht und nahe dem Epiphysenkern durch den Verbindungsknorpel. Die Thiere wurden sodann am 10., 20. und 30. Tag getödtet, und die Knochenpräparate in gewohnter Weise behandelt. Nennen will ich diese Thiere nach ihrer Lebensdauer A, B, C.

Zweitens excidirte ich 4 anderen Thieren desselben Wurfes an demselben Tage (also auch, als sie 4 Wochen alt waren) eine circa 0,5—1,0 mm breite Scheibe aus dem Verbindungsknorpel, indem ich dabei möglichst in den distalen an den Epiphysenkern grenzenden Partien desselben arbeitete. Die Thiere wurden wie immer antiseptisch verbunden. Am nächsten Tage starb eins aus unbekannter Ursache. Die 3 anderen wurden am 17., 31., 57. Tage nach Vornahme der Operation getödtet. Auch bei diesen Thieren war die Ulna zur Operation gewählt worden. Die mikroskopischen Resultate sind folgende: Bei den Thieren, deren Knorpel einfach glatt durchschnitten war, fand sich bei

	verletzte Seite	unverletzte Seite
A. nach 10 Tagen	U. 39 mm R. 31 mm	U. 40 mm R. 31 mm
B. „ 20 „	„ 40,5 „ „ 33 „	„ 41 „ „ 33 „
C. „ 30 „	„ 47 „ „ 40 „	„ 49,5 „ „ 40 „

Also die Differenzen

A. nach 10 Tagen	U. 1,0 R. —
B. „ 20 „	„ 0,5 „ —
C. „ 30 „	„ 2,5 „ —

An keinem der Knochen war eine abnorme Krümmung nachzuweisen, wohl aber an der Ulna von C eine ungemein stark vorspringende, buckelartige Auftreibung an der Epiphysengrenze, besonders nach aussen und unten, so dass der Durchmesser der Ulna an dieser Stelle 5,5 mm beträgt gegen kaum 4 mm der unverletzten Ulna.

Bei den Thieren, denen eine Knorpelscheibe ausgeschnitten war, fand sich bei

	verletzte Seite	unverletzte Seite
No. I	nach 24 Stunden nicht gemessen, weil keine Differenz zu erwarten war.	
„ II	„ 17 Tagen U. 40 mm R. 32 mm	U. 40 mm R. 32 mm
„ III	„ 31 „ „ 47 „ „ 40 „	„ 52 „ „ 41,5 „
„ IV	„ 57 „ „ 44 „ „ 40 „	„ 55 „ „ 44 „

Also Differenzen:

No. I	U. — mm	R. — mm
„ II nach 17 Tagen	„ 0 „	„ 0 „
„ III „ 31 „	„ 5 „	„ 1,5 „
„ IV „ 57 „	„ 11 „	„ 4 „

Ferner war bei I natürlich noch das Stück Epiphyse ganz frei beweglich gegen die Diaphyse; bei II war nichts besonders Auffälliges; bei III war eine ziemlich bedeutende Krümmung des Vorderarmes nach aussen vorhanden, sodass die Gelenkflächen stark nach aussen sahen, auch waren beide Knochen an einer Stelle fest miteinander verwachsen, sodass die Lösung von einander nur mit Gewalt erfolgen konnte, wobei ein Stück der Knochenwand der Ulna am Radius haften blieb. Endlich bei IV war die Krümmung der Knochen so stark, dass die distalen Gelenkflächen vollständig nach aussen sahen, ausserdem war die Ulna fast in voller Ausdehnung mit dem Radius knöchern verwachsen, sodass beide nicht von einander getrennt werden konnten, daneben war die Ulna von der dorsalen nach der volaren Fläche zusammen gedrückt, sodass sie platt, von ungefähr sichelförmiger Gestalt erschien.

Mikroskopisch fand sich bei dem Kaninchen A (um zuerst die 3 nur mit glatter Durchschneidung des Knorpels behandelten Thiere zu beschreiben) an der Stelle des Schnittes der augenscheinlich mitten durch die Wucherungszone, also distal von der Zellenreihenschicht verlaufen war, ein weiter klaffender Spalt (Tafel XVI Fig. 4). Die den Spalt begrenzenden Knorpelränder waren von einer dünnen, zellarmen Bindegewebsschicht überzogen. Dieses Bindegewebe stammt, wie sich deutlich verfolgen lässt, vom Periost, denn von beiden Seiten des Wundspaltes im Knorpel schiebt sich vom Periost ausgehend je ein aus Bindegewebe bestehender, ziemlich zellreicher Gewebskeil in den Defect hinein, derselbe theilt sich sodann in je 2 Lamellen, die, den vorhandenen Hohlraum zwischen sich fassend, sich als ganz schmal gewordene Streifen dem Knorpel unmittelbar anlegen und in der Axe des Knochens mit denen von der anderen Seite in continuirlichem Zusammenhange

stehen. Ich kann mir dies Bild nur dadurch erklären, dass der Verband vielleicht die beiden Knochentheile nicht genügend oder nicht lange genug gegeneinander fixirte und dass nun, weil das Thier sein Bein von Anfang an gebrauchte, die Epiphyse dauernd stärkere oder geringere Bewegungen gegen die Diaphyse machte, wodurch sich eine Art neuen Gelenkes ausbildete, in dem sich ein Flüssigkeitserguss befand. In der Axe des Knochens, wo der Hohlraum am weitesten ist, erscheint die an der Diaphyse haftende Zellensäulenzone etwas gedrückt, ihre Höhe beträgt hier 381 μ, der über ihr gelegene Theil der Wucherungszone erscheint sehr reichlich, als ob dort eine Vermehrung der Zellen stattgehabt hätte. Doch habe ich keine Mitosen dort nachweisen können; in den mehr peripher gestellten Theilen ist die Höhe der erstgenannten Schicht 532 μ. An der Ulna der anderen Seite ist dieselbe Zone 708 μ hoch. Ob die durch Messung gefundene Differenz zwischen den beiden Ulnen auf einer wirklichen Beeinträchtigung des Wachsthums durch die Entfernung der Wucherungszone in ihrer grössten Ausdehnung von der Diaphyse beruht, will ich nicht sicher entscheiden, doch glaube ich mehr die Ursache dafür grösstentheils in einem der unvermeidlichen Messungsfehler suchen zu müssen, da der mikroskopische Befund meiner Ueberzeugung nach nicht ausreicht, um eine Verkürzung von 1 mm in 10 Tagen zu erklären; immerhin mag ja das erst erwähnte Moment ein wenig mitgewirkt haben.

Beim Thiere B, nach 20 Tagen getödtet, zeigt es sich, dass der Schnitt unmittelbar an die Grenze zwischen Knorpel und Knochenkern der Epiphyse gefallen ist; nur an der einen Seite ist etwas Knorpel an dem Epiphysenkerne sitzen geblieben (Tafel XVI Fig. 5). Der Schnitt ist zum Theil noch klaffend, zum Theil mit geronnenen Massen ausgefüllt. Dort wo der Knorpel in seiner Gesammtheit von dem epiphysären Knochen abgetrennt ist, hat sich in ihm ein neuer bereits ziemlich grosser Knochenkern entwickelt, der von einer Zone hydropisch veränderter Knorpelzellen umgeben ist. Es hat also augenscheinlich dieser Theil des Knorpels Neigung zur Bildung selbstständiger Knochenkerne. Die Ossificationsgrenze nach der Diaphyse zu verläuft unregelmässig, die Schicht der Zellenreihen dort wechselt zwischen 498 μ bis zu 1018 μ, sie ist dort am niedrigsten, wo sich über ihr am Knorpel der neue Knochenkern gebildet hat, am höchsten an einer Stelle, wo die Einschmelzung des Knorpels an der Verknöcherungsgrenze nicht rechtzeitig erfolgt zu sein scheint und in Folge dessen einige Zellreihen ein Stück weit in die Substanz des diaphären neuen Knochens hineinreichen. Die gesunde Ulna der anderen Vorderextremität hat 558 μ als Durchschnittshöhe der Zone der Zellenreihen.

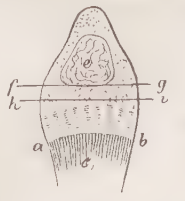
Die in diesem Falle gefundene geringe Differenz von 0,5 mm nach 20 Tagen ist unwesentlich; es kann sich sowohl ein Messungsfehler

eingeschlichen haben, als auch kann sie die Folge einer geringen Beeinflussung durch das Trauma sein, die sich ja auch mikroskopisch etwas zu erkennen giebt durch die Unregelmässigkeit der Verknöcherungslinie und der Zellensäulenschicht. Das vom Thiere C gewonnene Präparat ist unbrauchbar, weil noch ein unbekanntes Trauma eingewirkt haben muss, das die hochgradigen, nicht einmal völlig übersehbaren Anomalien, die sich im mikroskopischen Bilde darbieten, veranlasst hat, ich lasse es daher ausser Berechnung und will nur bemerken, dass sich dort wieder eine Stelle präsentirt, die den Werth der Zellensäulenschicht und der dicht über ihr gelegenen Wucherungsschicht für das Wachsthum in die Länge recht klar stellt; es findet sich nämlich in einigen der Schnitte eine Partie der Diaphyse noch in regulärem Zusammenhang mit der Schicht der Zellreihen und einem Theil der angrenzenden Wucherungszone des Knorpels, und diese Partie ist nun bedeutend in die Länge gewachsen (allerdings in anormaler Richtung in Folge einer Verschiebung aus unbekannter Ursache), während dicht benachbarte Partien, denen kein oder nur sehr wenig Knorpel blieb, mehr oder minder auffallend im Wachsthum zurückgeblieben sind.

Obwohl das diesbezügliche Material nur sehr gering, glaube ich doch, dass es nicht ganz unberechtigt ist, wenn ich zu dem Schlusse komme, dass einfache Durchschneidung des Knorpels jenseits der Zellenreihen, von der Diaphyse aus gerechnet, wenn überhaupt, doch nur einen sehr unwesentlichen Einfluss auf das Längenwachsthum ausübt.

Was nun die mit Excision einer Knorpelscheibe behandelten Kaninchen dieser Reihe betrifft, so ist natürlich bei dem bereits 24 Stunden nach der Operation gestorbenen Thiere ein irgendwie charakteristischer Befund noch nicht vorhanden. Es findet sich eben nur distal von der Zone der reihenförmig angeordneten Zellen ein breiter Defect, der Knorpel und Perichondrium betrifft und durch einen Bluterguss ausgefüllt ist. Am Knochenkerne der Epiphyse ist nur eine schmale Knorpelschicht an einer Seite zurückgeblieben. Sonst keine Veränderungen.

Weit wichtiger erscheint mir das bei Kaninchen No. II erhaltene Resultat. Dort war am 17. Tage nach der Operation noch keine Verkürzung nachweisbar. Ich will nun mit diesem Ergebniss den mikroskopischen Befund zu vereinen suchen, welcher folgende Ergebnisse bietet. Die Schnitte sind so gefallen, wie nebenstehendes Schema es am besten veranschaulichen wird: die zwischen den Schnitten f—g und h—i liegende Knorpelscheibe ist entfernt; es ist also an der Epiphyse



a-b = Verknöcherungsgrenze.
c = Diaphysenknochen.
d = Zellensäulenzone.
e = Knochenkern d. Epiphyse.

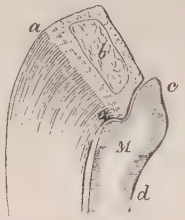
fast gar kein Knorpel haften geblieben, dagegen an der Diaphyse die ganze Zellensäulenschicht und noch ein ziemlich ansehnlicher Theil der Wucherungszone. Dass die Schnitte so verlaufen sind, lässt sich auch jetzt noch in dem mikroskopischen Präparate erkennen (Tafel XVI Fig. 6). Der Defect im Knorpel ist vom Periost aus durch etwas Bindegewebe an den peripheren Theilen, besonders aber durch neuen Knorpel ausgefüllt worden. In diesem neuen Knorpel hat sich sogar ein völlig selbständiger Knochenkern entwickelt. Die Schicht der Zellenreihen ist wohlgeordnet und misst durchschnittlich 602 μ (gegen 664 μ der unverletzten Seite). Die Ossificationsgrenze weist keine Anomalien auf, abgesehen von einer ganz schmalen Stelle an der einen Seite, wo die Zellenreihenschicht des Knorpels fehlt und wo denn auch das Wachsthum der Diaphyse in die Länge zurückgeblieben ist und die Knochenbälkchen verdickt sind.

Aus diesem Befunde schliesse ich, dass die an der Diaphyse zurückgebliebene Knorpelpartie, bestehend aus den reihenweise geordneten Zellen und einer Schicht der Wucherungszone, vollständig genügte, um den Knochen wie unter normalen Verhältnissen weiterwachsen zu lassen, dass also Verletzungen und Traumen, welche die mehr distal gelegenen Theile des Verbindungsknorpels betreffen, von unwesentlicher Bedeutung sind, so lange nur die Zellsäulenschicht und besonders ein Theil der angrenzenden Wucherungsschicht intact und mit der Diaphyse in normaler Verbindung geblieben sind.

Ueber die bei Thier III und IV gemachten Befunde kann ich flüchtiger hinweggehen. Denn bei ersterem sind zwar die Schnitte ähnlich gefallen, wie bei dem eben beschriebenen Falle, doch sind insofern besondere Verhältnisse eingetreten, als die Ulna wohl in Folge der Operation entsprechend der Stelle der Verletzung mit dem Radius fest verwachsen ist und dadurch eine bedeutende Verzerrung und Verschiebung der Ossificationsgrenze erfolgt ist, sodass man die eingetretene Verkürzung sicher auf diese besonderen Umstände zurückführen muss, zumal da auch die Zellenreihen eine eigenthümliche Verbiegung und Verschiebung aufweisen, die jedenfalls das Wachsthum auch zu einem irregulären gemacht haben. Auch ist der Defect im Knorpel nicht, wie sonst, ausgefüllt worden, sodass man wohl berechtigt ist, auch sonst noch das Einwirken unbekannter und daher unberechenbarer Verhältnisse anzunehmen. Es ist also dieses Präparat, bei dem trotz erhaltener Zellensäulen — und Wucherungszone eine ziemliche Verkürzung zu Stande kam, als noch besonders pathologisch anzusehen und kann daher für die Entscheidung der vorliegenden Fragen nicht in Rechnung gezogen werden.

Bei dem Präparat vom Thiere No. IV ist bereits völlig knöcherne Verbindung von Epi- und Diaphyse eingetreten, während an der un-

verletzten Ulna von der anderen Seite noch eine bis zu 230 μ hohe Zellsäulenschicht vorhanden ist. Wie diese frühzeitige Verknöcherung zu Stande gekommen ist, ob vielleicht bei der Operation der ganze Intermediärknorpel irrthümlicher Weise excidirt wurde, deshalb direct knöcherne Verwachsung eintrat, oder ob ein schmaler Knorpelstreif noch stehen blieb, aber schnell verbraucht wurde und dann mehr secundär die Verknöcherung sich bildete, das lässt sich jetzt nicht mehr entscheiden. Ich möchte der Ansicht mich zuwenden, dass nur die activ nicht mehr thätige Zellensäulenschicht ohne Wucherungszone an der Diaphyse haften blieb und dass dieselbe, da sie sich aus sich selbst ja nicht vergrössern konnte, schnell zur Knochenbildung verbraucht wurde und dass sodann die knöcherne Vereinigung von Epiphyse und Diaphyse sehr früh erfolgte und dadurch die so bedeutende Verkürzung von 11 mm in 57 Tagen zu Stande kam. Als Besonderheit erwähne ich bei diesem Präparate nur noch, dass der stark gekrümmte Radius durch sein Wachsthum die Epiphyse der Ulna zur Hälfte von der Diaphyse abgedrängt hat, wie beistehende Zeichnung das veranschaulichen möge.



a-a = Ossificationsgrenze des Radius.
b = Knochenkern d. Epiphyse.
c = Epiphyse der Ulna.
d = Diaphyse der Ulna.
M = Markraum, welcher von der Diaphyse bis in die Epiphyse hineinreicht.

Zum Schlusse will ich noch einmal kurz die wichtigsten Resultate meiner Beobachtungen zusammenfassen.

Einfache Abtrennung der Epiphyse in der Verknöcherungslinie heilt ohne dauernden Einfluss auf das Wachsthum, falls die Stücke gut auf einander gepasst und so fixirt werden. Wird der Knopel ganz von der Diaphyse abgetragen, so steht das Wachsthum derselben still. Bleibt nur die Zellsäulenzone stehen, so wächst der Knochen noch so lange, bis er dieselbe, die völlig passiv nur als Substrat für die Knochenbildung dient und sich nicht aus sich selbst vermehren kann, ganz verbraucht hat und dann erfolgt Stillstand im Wachsthum. Bleibt noch ein Theil der Wucherungszone mit haften, so findet, weil nun ja nach der Breite dieser Schicht noch mehr weniger bedeutende active Wucherung im Knorpel möglich ist, auch noch ein mehr minder beschränkter Grad von Knochenwachsthum statt. Betrifft aber die Verletzung nur die dicht am Epiphysenknochenkern gelegenen Theile des Intermediärknorpels, so kann das Wachsthum der Diaphyse annähernd oder sogar völlig ungestört verlaufen. Das wichtigste Stück des Knorpels ist also die dicht über den Zellenreihen gelegene Partie der Wucherungszone.

Hiermit stimmen ja auch sehr gut die Befunde von Leser und Retzius überein, welche in eben dieser genannten Schicht die meisten Kernteilungsfiguren beobachtet haben, was ebenfalls ein Beweis dafür

ist, dass hier die Lebensvorgänge und damit auch die Knorpelwucherung und -Vermehrung, besonders lebhaft und intensiv sind. Dass aber stets die Schicht, wo die vitale Thätigkeit besonders lebhaft ist, auch für das Wachsthum von besonderer Bedeutung sein wird, ist ja eigentlich selbstverständlich.

Zum Schlusse erlaube ich mir noch meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. SCHWALBE, sowohl für die Anregung zu dieser Arbeit, als auch besonders für die liebenswürdige und gütige Unterstützung, die derselbe mir in jeder Beziehung bei der Anfertigung derselben gewährt hat, meinen allerverbindlichsten Dank auszusprechen.

Verzeichniss der von mir citirten Litteratur.

v. BERG. Untersuchungen über Knochenoperation unter antiseptischem Verbande. Greifswald 1879. Dissert.

BIDDER. Experimente über die künstliche Hemmung des Längenwachsthums von Röhrenknochen durch Reizung und Zerstörung des Epiphysenknorpels. Arch. f. experiment. Pathol. I S. 248.

„ Neue Experimente über die Bedingungen des krankhaften Knochenwachsthums. Arch. f. klin. Chirurg. XVIII S. 603.

„ Ueber die Hemmung des Längenwachsthums der 1. Phalanx eines rechten Mittelfingers durch chronische Ostitis. Arch. f. klin. Chirurg. XXIV.

HAAB. Experimentelle Untersuchungen über pathologisches Längenwachsthum der Röhrenknochen. Medicin. Centralblatt XIII.

HELFERICH. Versuche über Hemmung des Knochenwachsthums durch Exstirpation des Intermediärknorpels. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1877.

LESER. Ueber die histologischen Vorgänge an der Ossification mit besonderer Berücksichtigung des Verhaltens der Knorpelzellen. Arch. f. mikroskop. Anat. XXXII 1888.

LOTZE. Beitrag zur Lehre vom Knochenwachsthum. Göttingen 1875. Dissert.

OLLIER. Traité expérimental de la régénération des os et de la production artificielle du tissu osseux. Paris 1867.

„ De l'excision des cartilages de conjugaison pour arrêter l'accroissement des os. Paris 1877.

KÖLLIKER. Handbuch der Gewebelehre des Menschen. Leipzig 1889.

OZENNE. Décollement traumatique simultané des epiphyses inférieurs du radius et cubitus droits. L'union medicale No. II 1887.

Ranvier. Traité technique d'histologie. Paris 1875.
„ Considération sur le développement du tissu osseux. Paris 1865. Dissert.
Retzius. Zur Kenntniss der endochondralen Verknöcherung. Verhandlungen d. biol. Vereins in Stockholm 1888—89.
Telke. Experimentelle Beiträge zur Lehre vom Knochenwachsthum. Greifswald 1874. Dissert.
Vogt. Die traumatische Epiphysentrennung und ihr Einfluss auf das Längenwachsthum der Röhrenknochen. Arch. f. klin. Chirurg. XXII 1878.

Erklärung der Figuren auf Tafel XVI.

Figur 1. Stammt vom Thier No. I aus der 2. Versuchsreihe.
e = Epiphysenseite, d = Diaphysenseite.

Von a—b und von c—f reichen die Schnittränder. Distal von a—b ist normaler Knorpel an der Epiphyse haften geblieben. Bei f ein kleines Stück der Zellsäulenschicht an der Diaphyse haftend. Sonst ragen zwischen c und f die verdickten diaphysären Knochenbalken in den Wundspalt hinein, welcher jedoch durch die aus den Markräumen stammenden bis zu dem Hohlraum g reichenden Gerinnungsmassen grösstentheils ausgefüllt ist, doch ist in diese Massen schon junges Gewebe von den Markräumen aus vorgedrungen. Zwischen l—g und a liegen noch fädige Gerinnungsmassen, die zahlreiche rothe Blutkörperchen einschliessen. Bis l ragt der zwischen b und f in den Knorpeldefect sich hineinlegende Keil jungen Gewebes, das von dem stark verdickten zellreichen Periost geliefert ist.

Figur 2. Vom Thiere No. II der 2. Versuchsreihe.

b—c und d—f Schnittränder. a = Rest der excidirten Knorpelscheibe, der aus Versehen liegen blieb. Zwischen c und f hat sich das Periost in den Defect hineingelegt und ein bis e reichendes Bindegewebe geliefert. Zwischen a und d bedeutende Knorpelproduction durch das Periost; bei d metaplastische Ossification. Im übrigen ist zwischen a—b und e der Defect durch ein bald dem Knorpel, bald dem Bindegewebe näherstehendes Ersatzgewebe ausgefüllt.

Figur 3. Für diese Figur genügt es, auf die im Text gegebene ausführliche Beschreibung hinzuweisen, vom Thier No. 3 der 2. Versuchsreihe.

a—e—f—b und c—d Schnittränder.

Figur 4. Vom Thier A der 3. Versuchsreihe.

a — b und c — d Schnittränder. e = neugebildeter Hohlraum. Zwischen a — c und b — d die vom Periost gebildeten, in den Spalt sich einschiebenden Bindegewebskeile, die sich sodann ungefähr den Punkten a — b — c — d entsprechend in je 2 Lamellen theilen, um dann in dünner Schicht die dem Hohlraum e zugewandten Knorpelflächen zu überkleiden.

f — g = diaphysäre
h — i = epiphysäre
} Verknöcherungsgrenze.

Figur 5. Vom Thier B der 3. Versuchsreihe.

a — b Rest des angelegten Querschnitts, bis f noch klaffend, von f — b durch geronnene Massen gefüllt.

c = neugebildeter selbständiger Knochenkern.

a — f — g Andeutung der Verknöcherungsgrenze der Epiphyse, von a — f vom Knorpel entblösst.

d — e unregelmässig verlaufende Verknöcherungsgrenze der Diaphyse.

Figur 6. Vom Thiere No. II der 3. Versuchsreihe.

a — c — d und b — e Schnittränder; das dazwischen liegende Gewebe ist vom Periost geliefert und bis g rein bindegewebig, sonst ausgesprochen knorplig, bei f neuer Knochenkern.

h — i Ossificationsgrenze der Diaphyse, bei i leichte Unregelmässigkeiten in der Verknöcherung (im Text besprochen).

Die Zeichnungen sind nach mikroskopischen Präparaten (mit Seibert's System 00, Ocular I) vom Zeichner Herrn Kretz angefertigt.

G. Pätz'sche Buchdruckerei (Lippert & Co.), Naumburg a/S.

Fig. 1.

Epiphÿs

Fig. 2.

Diaphÿs

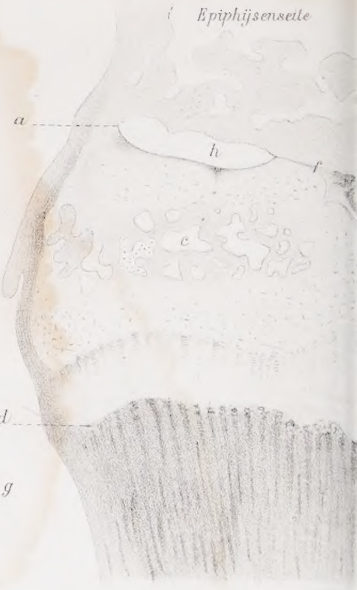
Fig. 4.

Epiphÿsenseite

Diaphÿsenseite

Fig. 5.

Epiphÿsenseite



Diaphÿsenseite

Fig. 6.

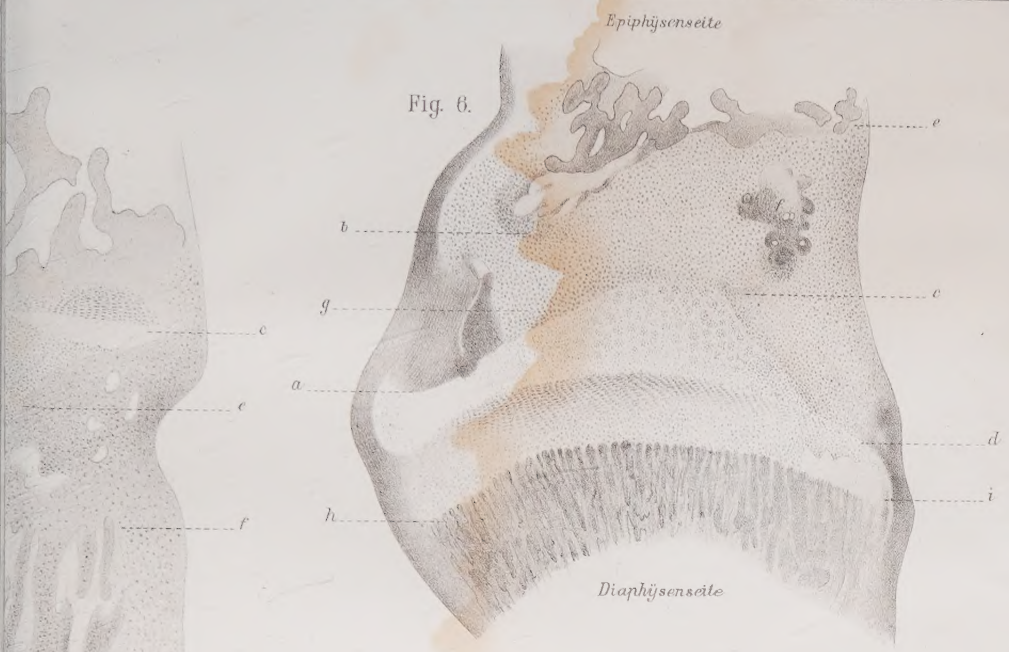


Fig. 3.

Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig